

2005 年江西九江 5.7 级地震构造背景与发震构造

李传友^{①*}, 曾新福^②, 张剑玺^③

① 中国地震局地质研究所, 北京 100029;

② 江西省地震局, 南昌 330039;

③ 北京市地震局, 北京 100080

* E-mail: lchyou@hotmail.com

收稿日期: 2007-10-24; 接受日期: 2008-01-18

国家发展与改革委员会发改投资项目(批准号: 20041138)和国家自然科学基金项目(批准号: 40602019)资助

摘要 2005 年九江地震是“相对弱地震活动区”的一次中强破坏性地震。对该地震发生的新构造环境进行了分析, 认为震区处于两大构造单元的边界带, 具有发生中强地震的构造背景。野外观察并结合地震现场考察的结果显示, 地震可能与瑞昌盆地西北边界发育的一条 NE 向断裂带有关。从丁家山-郎君山断裂对地貌和第四纪地层的控制、地质剖面、ESR 年龄等方面对这一盆地边界断裂的活动性进行了考察与分析, 认为该断裂在地表露头上表现为一条中更新世活动断裂。根据断裂活动特征和地震产生的地裂缝、等震线形态、震源机制解节面等的走向和位置, 推断丁家山-郎君山断裂是九江 5.7 级地震的发震构造, 而该断裂与较新活动的 NW 向断裂的交汇部位, 则可能是该地震的发震部位。分析表明, 此次地震并非一次意外事件, 其发震断裂活动特征和隐蔽性在中国东部地区具有典型性。

关键词

九江地震
构造背景
丁家山-郎君山断裂
活动性
发震构造

2005 年 11 月 26 日江西省九江市发生的 5.7 级地震, 是华东、华中地区近 30 年内最强烈的一次地震。此次地震的震级虽然不是很高, 但它发生在一直被认为少震的江西地区, 而且造成的震害异常严重, 这引起了人们的极大关注。“九江地震是否意味着地质突变? 会否带来一连串破坏性强的地震?” 成为九江地震的第一大悬疑(新浪网等, 2005 年 11 月 29 日)。

江西属于地震活动比较弱的地区, 历史上很少发生破坏性强震。位于赣北的九江市, 从地震中长期预报看并不是一个中强震地区。全国地震烈度区划图显示^[1], 九江地区地震的基本烈度为 VI 度。而此次九江地震极震区烈度达 VII 度, 超过当地基本烈度。因此, 对于属中弱震区的江西九江市, 这次地震强度超出预想。这与 1976 年唐山地震的情况极为类似, 该

地区在此之前百年一直没发生过大地震, 历史上也没有强震记载, 地震和地质构造并未显示强烈活动, 根据强震预测标准, 没人想到当地会爆发大地震。因此, 九江地区出现意外强震, 具有较为典型的中国东部地区地震的发震特征。

关于引发这次地震的构造的研究, 对于中国东部地区中强地震发震构造条件研究和未来强震危险性评估意义重大。但是, 在震后对其发震构造一直并没有统一的认识。一种观点认为是瑞昌盆地边缘 NE 向断裂作用的结果, 或者可能有 NW 向断裂的参与^[2], 此认识主要是基于地震现场考察等的推断; 一种观点认为该地震可能是由瑞昌盆地内一条 NW 向隐伏断裂活动引发^[3], 这主要根据余震重新定位所推测。关于该次地震的发震构造之所以存在争议, 是因为这

些认识主要还停留在推测的基础上,并没有充分的地质构造方面的依据。为了能对本次地震的发震构造特征有较为清楚的认识,本文旨在野外考察的基础上,对地震发生的构造背景、相关断裂活动性和发震构造进行分析。

1 震中地区地震构造环境

该次地震发生在九江县与瑞昌市交界处,据中国地震台网测定,震中位于 29.7°N , 115.7°E (图1,2)。

1.1 大地构造背景

在大地构造部位上,震中所处的九江地区位于两大地质单元的边界交接地带(图1),北部为秦岭-大别造山带,南部为扬子准地台^[6]。该地区的地质发展受此2个构造单元的控制。

具体地质构造方面,震中附近存在两组不同方向的区域大断裂:NE向的庐江-广济断裂(郟庐断裂带南段)和NW向的襄樊-广济断裂(图1)。郟庐断裂带是中国大陆一条极为重要的断裂带,活动性延续至今,为中国东部最大的近代地震活动带。其主干断裂沿秦岭-大别造山带的东南边缘延伸,终止于长江岸边的广济附近,南段切割并错移大别山带而构成断裂尾端^[7,8]。襄樊-广济断裂带是一条区域性深大断裂,构成了秦岭-大别造山南缘边界断裂构造带的东南部分,并因而被认为是扬子地块与秦岭-大别造山带的分界线^[9]。九江地区的构造活动受此两条断裂的作用与影响。

总之,九江地震区位于两大地质构造单元的交接地带,处在NE走向和NW走向区域大断裂的交汇部位,构造背景十分特殊(图1)。

1.2 区域新构造环境与地震

新构造位置上,震中所属的九江地区位于幕阜山-九岭断块隆起区与鄱阳湖-安庆断块拗陷区的接壤部位,地跨滨湖平原、残丘低山,地势西高东低。西部隆起区海拔多在300~500m,向东过渡为平原区,海拔多在80m以下。新构造期以来,区内以差异升降运动为主,山区多发育两级剥夷面和3~4级河流阶地。

西部的幕阜山-九岭隆起是中国东部中生代、新

生代NE-NNE向构造系的重要组成部分,自中生代隆升呈断块山,新生代以来经历了较强烈的隆升^[10]。其两侧发育以NE向为主的断陷盆地,西与江汉-洞庭湖断陷盆地,东与鄱阳湖-安庆断拗盆地遥相对照,形成隆凹相间的地貌构造格局。断陷盆地表现为地堑、半地堑,与其间夹的断隆构成的山岭以边界断裂带相隔。边界断裂带亦走向NNE至NE,控制了区内的现代地震活动。

九江所处的鄱阳湖地区为典型的沉降区,沉降幅度在100~200m不等,并存在局部的断块抬升。区内新构造运动以差异性的块断下降和局部块断上升为特征,特别是在第四纪这种低地沉降与局部山地上升表现得更为明显。例如,九江东部的庐山为一块断山,从其现今海拔1000m以上存在着只能在海拔较低的湿热环境下方可形成的网纹红土可知^[11],自网纹红土形成(中更新世初)以来,山体抬升了约600~800m。与之相对应,鄱阳湖至今一直处于沉降状态,表现在鄱阳湖水面之下发现原本位置较高的网纹红土深埋于200m以下^[12]。这些反映出庐山在强烈上升过程中,其周围的湖盆、低地则在相对强烈下陷。

九江地区附近主要的区域性活动断裂除庐江-广济断裂外,还有NE向的霍山-罗田断裂、九江-靖安断裂、湖口-新干断裂等(图1)。这些NE向断裂为对本区新构造活动最具影响的断裂体系,九江及毗邻地区的现代地震活动主要受控于NE向断裂带(图1)。九江地区,1911年5级地震^[13]和1995年4.9级地震^[14]分别发生在九江-靖安断裂和瑞昌南部NE向范家铺断裂上;而本次5.7级地震的发生可能与瑞昌西北NE向断裂有关。九江邻近地区,1336年安徽宿松4.75级、1497年安徽潜山4.75级、1634年湖北罗田5.5级、1361年靖安5.5级地震^[13],分别发生在襄樊-广济断裂、霍山-罗田断裂和九江-靖安断裂上;1897年湖北阳新5级地震^[13],同样推测与幕阜山隆起附近NE向断裂活动有关。因此,NE向断裂控制了该地区中强地震的发生,为该区的主要发震构造。

以上事实表明,震中所处的九江一带位于一个新构造运动较强烈地区,NE向断裂为主要的活动构造,控制了现代地震的发生。

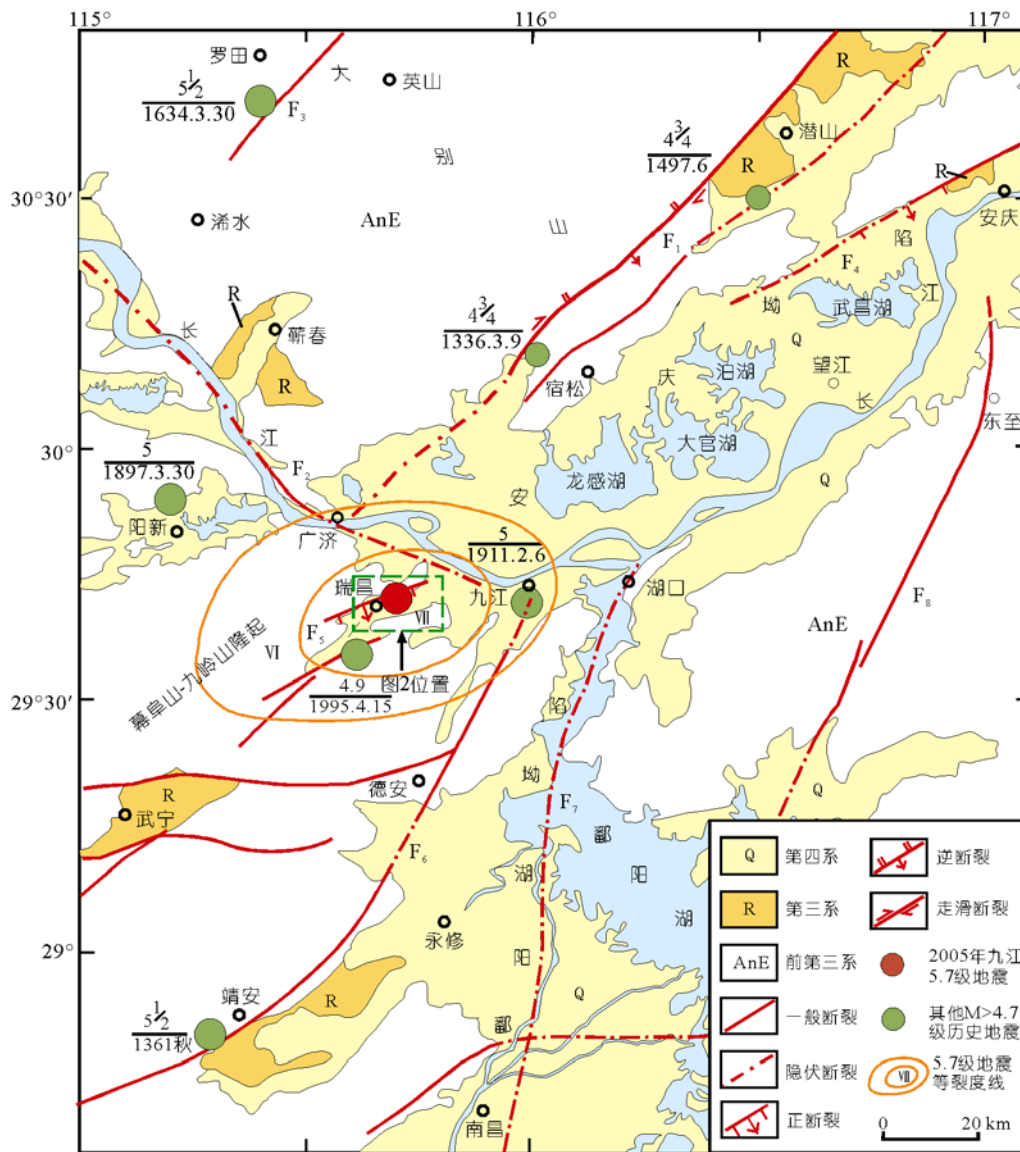


图 1 九江地震区构造位置及区域地震构造图(据 [4], 1)修改, 地震等震度线 [5])

F₁, 庐江-广济断裂; F₂, 襄樊-广济断裂; F₃, 霍山-罗田断裂; F₄, 枞阳-宿松断裂; F₅, 丁家山-郎君山断裂; F₆, 九江-靖安断裂; F₇, 湖口-新干断裂; F₈, 东至断裂

2 极震区的构造活动性

据地震台网测定和地震现场考察, 震中位于九江县港口乡与瑞昌市交界的赛湖农场附近(图 2)。极震区地处鄱阳湖拗陷向幕阜山隆起的过渡地带, 地貌上表现为一新生代盆地及其两侧的隆起, 构造上主要为一 NE 向控盆主边界断裂(图 2)。因此, 震中地区的地貌与新生代构造较为简单。

2.1 极震区地层地貌与新构造特征

瑞昌盆地是一个 NE 向第三纪小型盆地, 长 18 km, 宽约 5 km。其两侧分别为志留系-泥盆系碎屑岩组成的 NE 向山体。盆地内的最早沉积为下第三系紫红色砾岩、砂砾岩夹粉砂岩, 沿着盆地的西北边缘出露。在丁家山西南和郎君山一带, 可见晚第三纪多层玄武岩。盆地内缺失上第三系, 出露的第四纪沉积盖

1) 安徽省地质局. 中华人民共和国地质图, 武汉幅 1:1000000. 1963

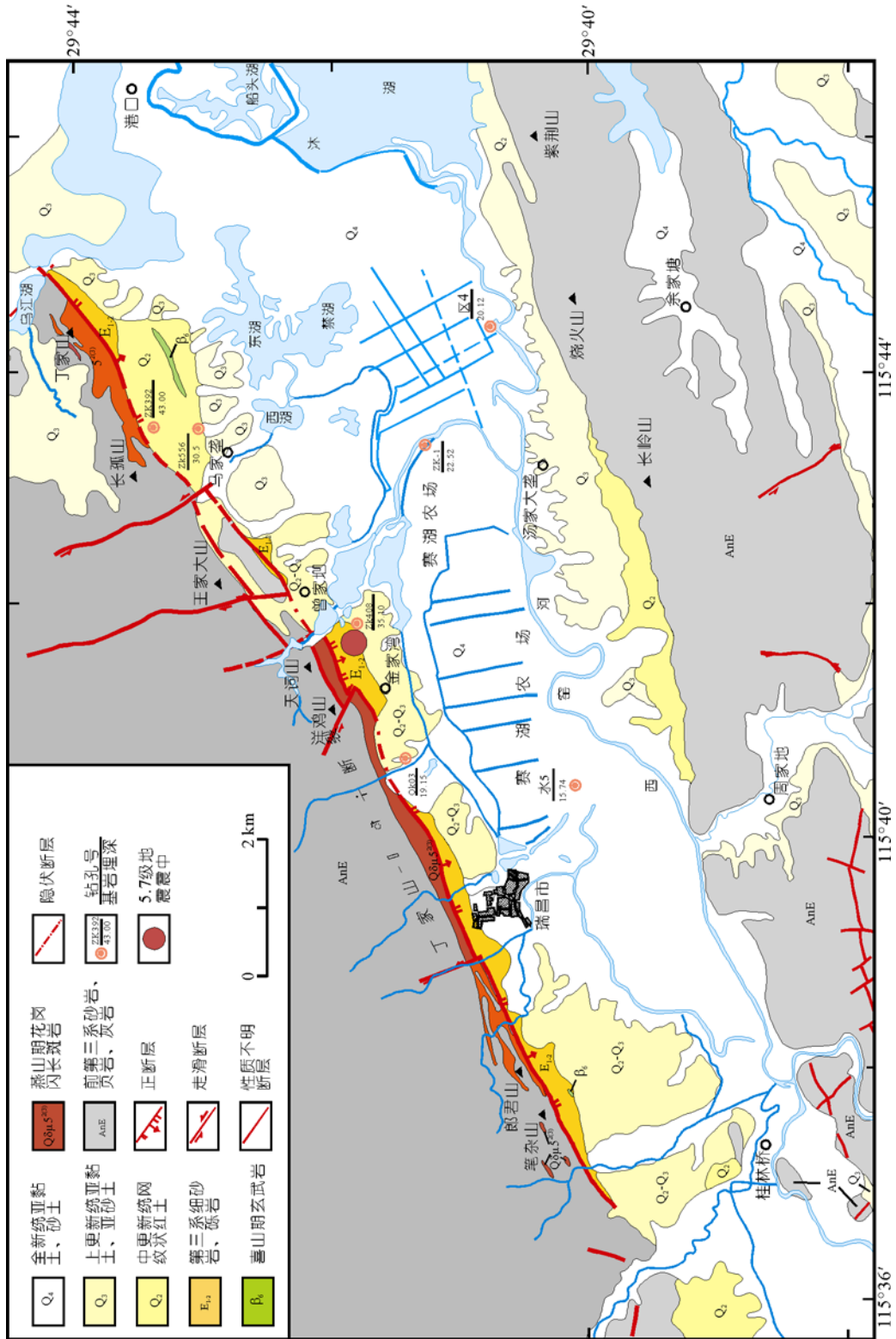


图 2 九江地震震中一带地震构造图(据脚注 1)修改

位置示于图 1

1) 江西省地质矿产局, 瑞昌幅 1:50000 地质图, 1987. 江西省地质矿产局, 范家铺幅 1:50000 地质图, 1990. 江西地质矿产局, 九江市幅 1:50000 地质图, 1997

层主要为中更新世-全新世冲积、洪积和湖积物。其中, 中更新统(Q₂)上部为网纹红土, 下部为具网纹构造的砂砾石层; 上更新统(Q₃)以棕黄色黏土和亚黏土堆积为主, 黄土层之下见砂砾石层; 全新统(Q₄)上部为灰褐色亚黏土、黏土, 下部为砂砾石层。钻孔资料显示(图 2), 盆地内第四系一般厚度为 15~30 m。瑞昌盆地表现为半地堑形式的断陷盆地, 其西北边界是一条 NE 向断裂带——丁家山-郎君山断裂带。

丁家山-郎君山断裂发育于 NE 向郎君山-丁家山背斜的南东翼, 为褶皱翼部同走向断裂。其北东起自丁家山以北, 向西南沿着瑞昌盆地西北边缘, 经赛湖农场、洋鸡山、瑞昌县城, 至郎君山西北后, 地表迹线已不清楚。全长约 20 km, 走向 NE, 总体倾向 SE, 倾角大于 50°, 正断裂性质。该断裂由一系列近于平行的断面组成宽约几百米的 NE 向断裂带, 主要表现为老第三系与前新生代地层、岩浆岩之间断裂接触(图 2)。断裂北西盘为志留系-泥盆系碎屑岩和燕山期岩浆岩, 南东盘为第三系红色砂砾岩。破碎带宽十几到上百米, 最宽处 200 多米。带内碎裂岩、角砾岩发育, 并见构造透镜体、擦痕和断层泥等。

2.2 丁家山-郎君山断裂带的活动性

2.2.1 断裂活动的地质地貌表现

(i) 断裂对新生代地层的控制。作为瑞昌盆地内的最老沉积, 第三系红层沿丁家山-郎君山断裂以条带状出露(图 2), 并表现出同断陷沉积, 由此表明该断裂控制了盆地最初的形成和盆地内第三系的发育。野外调查显示, 丁家山-郎君山断裂带对第四纪早中期地层的分布同样具有较明显的控制作用, 致使中更新世网纹红土沿瑞昌盆地西部边缘呈狭长带状分布(图 2); 断裂甚至可能控制了晚更新世地层的发育。这表明断裂在第四纪仍具有活动性。钻孔资料显示(图 2), 断裂附近的新生代地层要厚于盆地内部和东部边缘, 进一步说明盆地受断裂作用而呈单边断陷以及断裂对新沉积的控制。

(ii) 坪头山断裂地质剖面。丁家山-郎君山断裂带北端可追索到丁家山 NE 向山体的末端, 在长江南岸坪头山附近见到其踪迹(位置见图 3 中最北之观

察点)。在坪头山东, 断裂发育于志留系砂岩中, 出露 NE 和 NW 向两组断裂。NE 向断裂走向约 35°, 倾向 NW, 倾角约 80°; NW 向断裂走向为 330°, 倾向 SW, 倾角 70°左右。据野外观察, 两者在延伸方向上是相交的。从其所处位置分析, NW 向断裂应属于襄樊-广济断裂带尾端。出露剖面显示, 两组断裂面内均发育宽约 10 cm 的断层泥, 固结坚硬; 断裂上覆厚约 50 cm 的棕黄色中更新统含砾砂土未受断裂错动。同时, 断裂通过位置在地形地貌上没有活动迹象。这些现象共同表明, 此处地表出露断裂并无明显新活动。但由此可以看出, NE 和 NW 向两组断裂的共同发育是这一带的构造主旋律。

(iii) 丁家山断裂地质剖面。赛湖-丁家山一段, 断裂带由一组近于平行的断面组成, 剖面上呈阶梯状正断裂, 控制了南盘第三系红层沉积。在这一带, 断裂面走向 NEE, 倾向 SE, 倾角 70°以上。带内角砾岩发育, 并见构造透镜体、擦痕和断层泥。沿断裂带有中酸性岩体贯入, 志留系砂页岩被砂卡岩化。

据丁家山钻孔资料¹⁾, 在丁家山一带沿断裂带分布的第三系内有断裂活动。第三系显示同沉积断陷特征, 第三系砂砾岩背斜褶曲, 同断裂产状一致, 靠近断裂一侧的北翼陡, 砂砾岩具破碎现象。这说明断裂在新生代有较强活动。丁家山铜矿大型采矿坑揭露剖面显示, 花岗闪长斑岩顶部角砾岩和砂卡岩化砂页岩被断裂所断错(图 3(a))。断裂破碎带宽约 60~80 cm, 主断面倾向 SE, 倾角 81°。断面较平直, 沿其发育一宽约 5~6 cm 紫红色断层泥带, 断层泥半固结, 具有明显的磨擦镜面和擦痕, 指示南东盘下降。为了获得断裂最晚一次活动的时代, 野外采集断层泥电子自旋共振(ESR)样品, 编号为 E-10。该点南西 300 m, 燕山期花岗闪长斑岩中发育几条近 EW 向断裂。断裂规模不大, N 倾, 倾角近 80°, 断裂两侧花岗闪长斑岩强烈破碎。这表明花岗闪长斑岩侵入后受到近 EW 向断裂的作用。

综合丁家山一带断裂剖面, 从第三系砂砾岩具破碎现象、断裂角砾岩和砂卡岩又受后期改造、花岗闪长斑岩被断裂断错及断层泥固结程度, 推断该断裂在第四纪早期有活动。

1) 江西地质矿产勘察开发局. 中华人民共和国地质图(瑞昌幅)1:50000 说明书, 1993

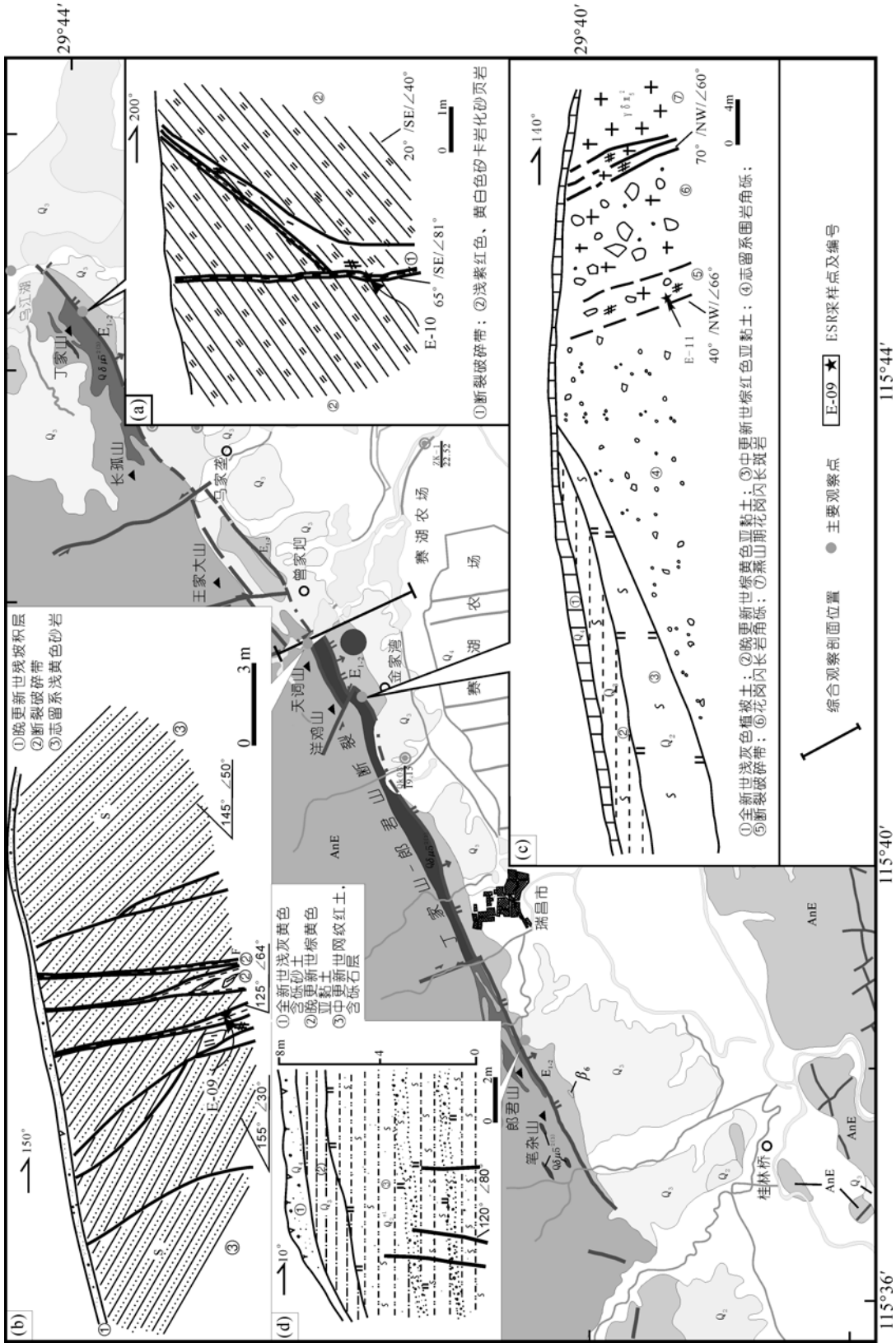


图3 丁家山-郎君山断裂带主要观测剖面及其位置

(iv) 天词山断裂地质剖面. 断裂在天词山一带表现较为复杂, 在泥盆系砂岩和花岗闪长斑岩中及两者之间均发育 NE 向断裂. 天词山东垂直 NE 向山体开挖的剖面上, 志留系黄褐色砂岩中发育 4~5 条 NE 向断裂(图 3(b)). 断面倾向 SE, 倾角 64° ~ 80° , 正断性质. 这几条断裂相距 1~2 m, 将志留系砂岩切割的支离破碎. 断裂带内物质半胶结, 显示其活动较新. 同样对该处断层泥采集 ESR 测年样品, 编号为 E-09.

天词山南, 志留系砂岩和花岗闪长斑岩之间同样发现 NE 向断裂破碎带. 该剖面上见志留系砂岩和花岗闪长斑岩呈正断裂接触, 断裂倾向 SE, 倾角 83° , 断裂南东盘花岗闪长斑岩破碎. 从带内物质固结程度和断面新鲜程度看, 该断裂较图 3(b)剖面显示的天词山东断裂要新.

在该观察点东, 花岗闪长斑岩内也出露断裂的地质剖面, 其构造位置上更靠近盆地内部. 断裂规模较小, 走向 65° , 倾角 64° . 单条断裂破碎带宽几厘米, 断裂面平整, 较新鲜(图 4(a)). 断裂断错了花岗闪长斑岩, 上覆的 Q_3 棕黄色细砂层没有被错动. 但断裂附近花岗闪长斑岩之上覆盖的 Q_2 网纹红土有轻微拱起, 并向盆地内倾斜, 可能为受断裂活动影响所致.

(v) 金家湾断裂地质剖面. 在瑞昌东北金家湾可见宽度达几十米的断裂带, 带内岩石强烈破碎, 发育角砾岩、碎裂岩和构造透镜体, 并被石英闪长玢岩充填. 该处断裂将其附近砂岩、页岩与石英闪长玢岩、角砾岩, 甚至第三系紫红色砾岩混杂在一起. 断裂控制了第三系紫红色砾岩发育, 表现出同断陷沉积, 使得断裂附近第三系紫红色砾岩强烈变形, 形成一向北倾伏的背斜褶皱, 倾角大于 30° (图 4(c)), 并在断裂面附近破碎. 金家湾金矿南侧长约 60 m 的剖面上, 由志留系围岩构成的角砾和石英闪长玢岩中出露几条 NE 向断裂(图 3(c)). 断裂带内物质半胶结, 对其采集 ESR 测年样品, 编号为 E-11.

(vi) 郎君山断裂地质剖面. 西南段郎君山一带, 断裂附近发育张性角砾岩, 地貌显示断裂南东盘下降. 郎君山南侧盆地边缘, 在推测断裂通过位置出露中更新世(Q_2)堆积, 上部为棕红色网纹红土, 下部为红棕色、具网纹构造的砂砾石层, 砾石直径几厘米,

由石英、石英砂岩及硅质岩组成, 次磨圆至次棱角状, 大小均匀. 在 Q_2 中下部网纹红土到砂砾石层中, 发育 3 条近于平行的 NE 向张裂面(图 3(d), 4(b)). 张裂面平直, 走向 60° ~ 70° , 倾向 NW, 倾角 80° 左右. 张裂面之间相距约 2 m, 往上未延伸到 Q_2 顶部, 网纹红土之上为 Q_{3-4} 砂土层覆盖. 由此推断, 这几条张裂面形成于 Q_2 早中期. 它们位于推测的 NE 向断裂位置, 可能是受断裂活动的影响形成.

以天词山东观测地质露头为基础的综合剖面(图 4)显示, 丁家山-郎君山断裂是一条由多条断裂组成、具有一定宽度的断裂带. 位于盆地外侧的志留系内断裂活动时期最老; 志留系砂岩和燕山期花岗闪长斑岩之间的断裂、花岗闪长斑岩内的断裂, 活动时代相对要新; 而 Q_2 网纹红土受更新的断裂活动影响. 可以推测, 还有更新的断裂活动位于盆地内侧. 已有物探资料显示^[15,2], 在盆地内侧确实存在一条 NE 向隐伏断裂. 因此, 这些断裂的活动性具有往盆地内部依次变新的趋势.

2.2.2 ESR 测年结果及讨论

上述出露的地质剖面中, 断裂主要发育于前第四纪基岩内, 其上没有覆盖第四纪沉积物或只有很薄的残坡积层. 但断裂带内断层泥或破碎物较为发育, 因而比较适合电子自旋共振(ESR)测年来确定断裂活动的年代. ESR 法测定断层泥和断裂破碎物年龄的研究已经比较深入^[15-17], 从机理上解决了利用断层物质对断裂活动进行测年的问题, 它反映了断裂较新一次活动的大致时间.

我们在 3 个不同地点采集了 3 个断层泥样品来测定 ESR 年龄. 图 3 和表 1 给出了 3 个样品的取样地点及 ESR 年龄结果. 对于每个样品, 分别测量出测样的 E'中心 ESR 信号强度(吸收谷深度)(图 5), 做出 E'中心 ESR 信号强度与照射剂量的相关曲线, 采用附加法获得等效剂量(ED)值. 这批样品的拟合曲线呈饱和和指数. 测样的 ESR 信号强度采用北京大学 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 源照射后测量获得. 测量条件: 微波功率为 0.205 mW, 调制幅度为 1.00 G. 环境剂量率(D)计算中, 假定 α 辐照产生的 ESR 的效率为 0.05, 宇宙射线的贡献估计为 0.15 m Gy/a.

1) 同 346 页脚注

2) 同 347 页脚注

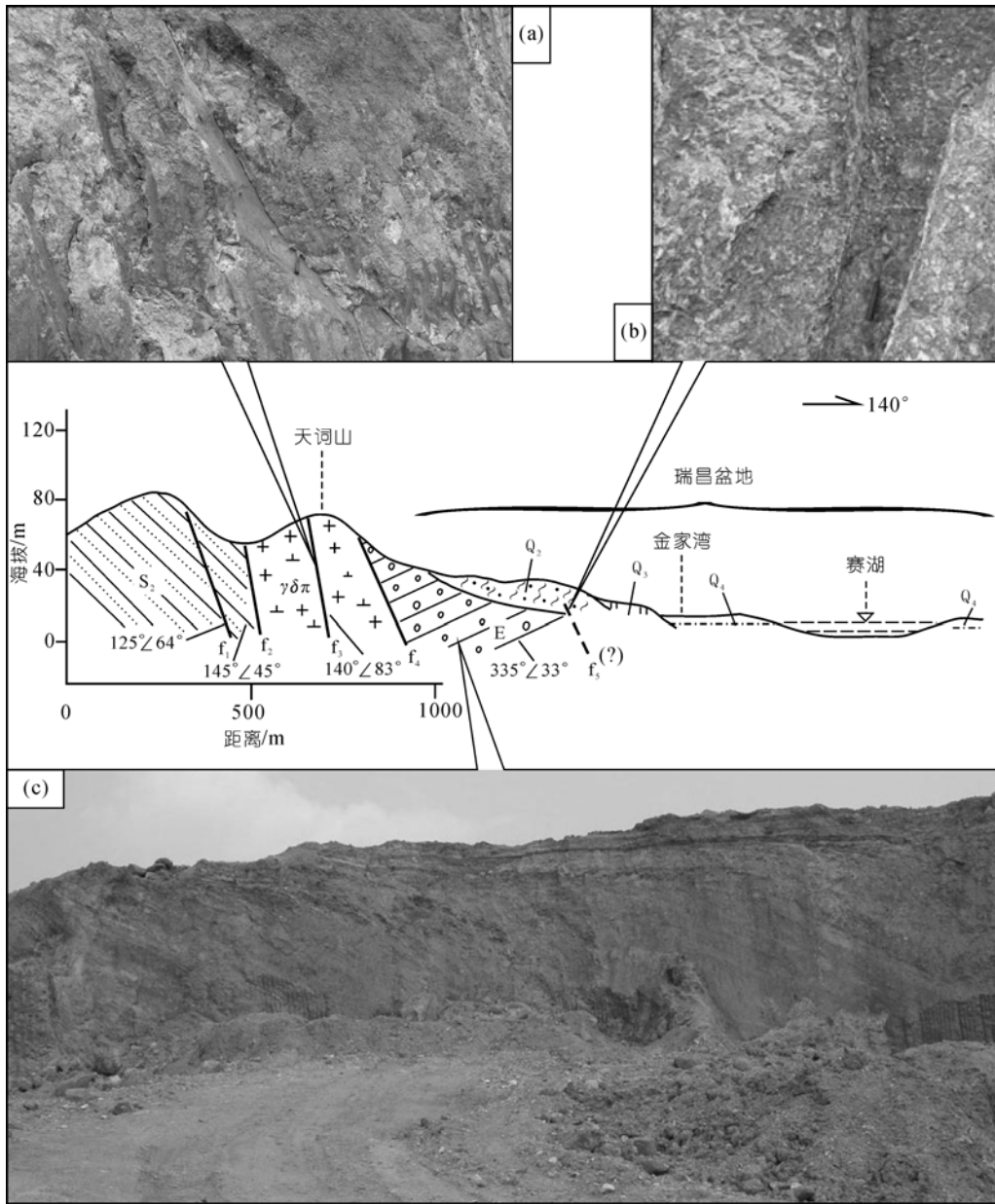


图 4 天词山一带断裂综合剖面

剖面位置示于图 3. Q_4 , 全新统灰褐色亚黏土、黏土; Q_3 , 上更新统棕黄色黏土、亚黏土; Q_2 , 中更新统棕红色网纹红土, 下部为具网纹构造的砂砾石层; E, 下第三系紫红色砂砾岩; $\gamma\delta\pi$, 燕山期花岗岩闪长斑岩; S, 志留系浅黄色砂岩. 插图: (a) 天词山南花岗岩闪长斑岩内断裂剖面(镜向 NE); (b) Q_2 断裂附近网纹红土中的张裂面(见于郎君山一带)(镜向 SW); (c) 金家湾东北一带第三系紫红色砾岩变形剖面(镜向 NE)

表 1 断裂带内断层物质 ESR 测年结果

野外编号	采样地点	样品物质	古剂量/Gy	年剂量/ $Gy \cdot ka^{-1}$	年龄/ka
E-09	天词山	断层泥类物质	1919±170	4.011	478±42
E-10	丁家山	固结断层泥	3753±406	3.326	1128±122
E-11	金家湾	断层泥类物质	1351±133	3.919	344±34

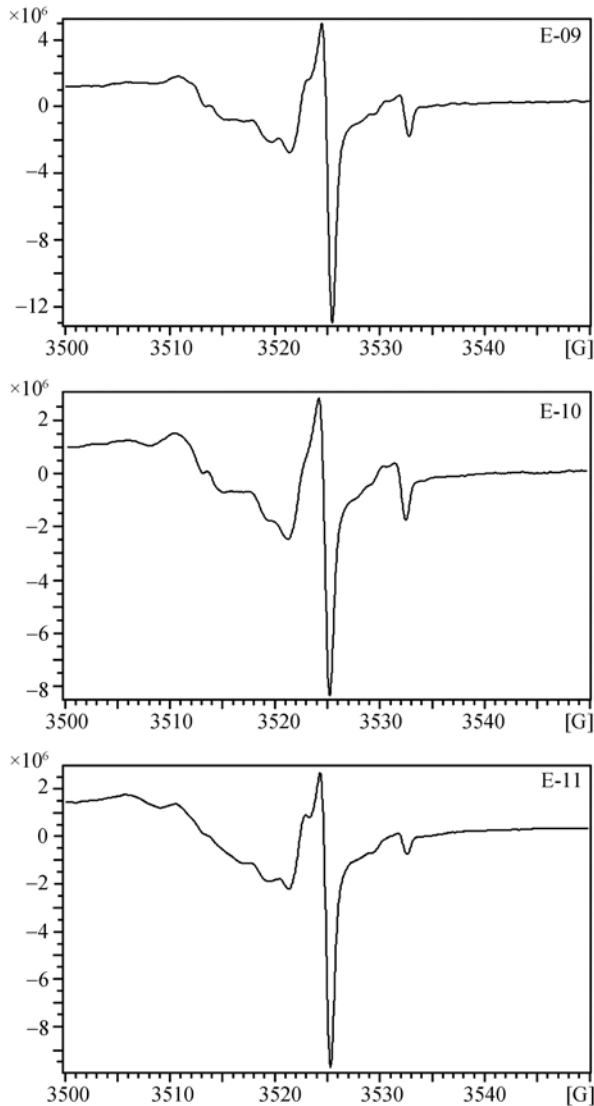


图 5 测年样品石英的 ESR 谱图

ESR 测年结果(表 1)显示, 这 3 个断层泥样品年龄值的测量误差在 10%左右, 其主要原因之一可能为所加人工辐照剂量偏小. 从表 1 的年龄数据分析, 断裂在基岩中的活动可见到 3 期. 最老一期发生在早更新世晚期, 距今约 1006~1250 ka, 在丁家山可见到活动迹象; 第 2, 3 期发生在中更新世中期, 分别距今约 436~520, 310~378 ka, 在天词山和金家湾有活动显示. ESR 测年结果表明, 该断裂最新的一次活动为中更新世中期.

2.2.3 岩浆活动

沿丁家山-郎君山断裂具有强烈的岩浆活动, 燕

山期中酸性或中基性侵入岩体成条带状发育, 主要为花岗闪长斑岩和石英闪长玢岩, 如洋鸡山-郎君山石英闪长玢岩侵入体长 7.2 km, 沿带有金、铜、硫等矿化. 此外, 晚第三纪喷出的基性玄武岩在该断裂附近的丁家山和郎君山也有分布. 岩体沿丁家山-郎君山断裂的分布特征, 表明岩浆活动受断裂控制; 岩浆岩中常见下伏基岩的角砾, 分布与断面一致, 说明该断裂具有一定的切割深度; 而受断裂控制的岩浆的多次活动则反映了该断裂深层次的反复剧烈运动.

2.2.4 断裂活动性分析

总体来看, 丁家山-郎君山断裂是位于瑞昌盆地西北边界的一条较大型断裂, 显示出多期活动性. 断裂控制了瑞昌第三纪红盆最初的形成和盆地内第三系红层的分布, 以及喜山期基性玄武岩的喷出, 表明了其第三纪活动性. 进入第四纪以来, 该断裂仍显示出一些活动性, 表现在: (1) 第三系砂砾岩背斜褶曲, 并进一步受断裂影响破碎; (2) 早期形成的以志留系围岩为主构成的断裂角砾岩再次受断裂作用, 基岩中断裂发育的断层泥较松软; (3) 断裂带由多条平行断裂组成, 活动性有向盆地内迁移的趋势, 最新的断裂可能靠近盆地以内, 并被晚更新世-全新世地层覆盖, 而所能揭露到的最新活动断裂发育于燕山晚期花岗闪长斑岩之中, 断裂面新鲜, 显示出在中更新世有活动的迹象; (4) 对第四纪早中期地层的分布具有控制作用, 使得瑞昌盆地内中更新世网纹状红土沿断裂南东盘呈条带状分布, 同时, 网纹红土受断裂影响轻微拱起并发育 NE 向张裂面, 表明该断裂在第四纪早中期有活动; (5) 根据断层泥 ESR 测年结果, 断裂的最新一次活动为中更新世中期. 因此, 丁家山-郎君山断裂可以确定为一条中更新世活动断裂. 不过, 由盆地内第四系厚度和出露地质剖面显示, 第四纪以来断裂的活动强度不大.

3 九江 5.7 级地震发震构造分析

3.1 九江 5.7 级地震的发震构造判定

正如地震构造图(图 2)所反映, 九江 5.7 级地震震中地区新生代构造较为简单, 主要为一条 NE 向丁家山-郎君山断裂. 此外, 区内还发育一组 NW 向小断裂.

丁家山-郎君山断裂规模较大, 是一条由多个断裂组成的弱活动断裂带, 为震中区内主要断裂。以往震例显示, 7 级以下的地震一般不会形成地震地表破裂。这表明, 对于一条弱活动的断裂, 很难断错到地表附近的新地层。丁家山-郎君山断裂虽然地表露头显示的活动性为中更新世, 但由于其活动强度不大, 同时盆地内第四系又有一定的厚度, 因而反映该断裂较新活动的断裂上断点并没有到达地表。从盆地内侧可能存在一条更活动的隐伏断裂, 并可能控制了晚更新世地层分析, 丁家山-郎君山断裂是一条具较新活动性的断裂, 具有发生中等强度地震的能力。

虽然震中区内还发育几条 NW 向断裂, 但其规模较小, 在区域构造活动中处于从属和辅助地位。野外追索调查发现, 这些 NW 向断裂一般长约 1~2 km, 宽度不大, 终止于丁家山-郎君山断裂带附近。它们往往切割 NE 向断裂带中较老的断裂, 而为更新的 NE 向断裂所限制。从其切割 NE 向断裂看, 这些 NW 向断裂发育时代晚于 NE 向断裂的形成; 从其被 NE 向断裂所限制看, 其活动性要弱于 NE 向断裂。这些 NW 向断裂对地层和地貌无任何控制作用, 进一步表明其新活动性不明显。野外调查未发现较大 NW 向第四纪活动断裂的证据。总之, 无论在规模上还是活动时代上, NW 向断裂都不具备控制现代中强地震的能力。

同时, 据九江 5.7 级地震现场科学考察报告¹⁾[6,18], 极震区地震烈度等值线(见图 1)呈明显的椭圆形, 长轴方向为 NE 向, 其形态与丁家山-郎君山断裂带的走向一致。VII 度等值线长轴约 24 km, 短轴约 15 km, 基本涵盖了该 NE 向断裂的展布范围。地震考察发现的与构造变形有关的地震裂缝显示为 NE 和 SN 向或雁列排列, 位置与这一断裂带相吻合; 地震陷坑连线也大多呈 NNE 向或近 SN 向 [18,19]。此外, 本次地震的震源机制解主节面之一表现为 NE 向 [6]。地震烈度等值线形态、地震地表变形与震源机制解主节面, 一致显示地震的发生与瑞昌盆地附近的 NE 向丁家山-郎君山断裂活动有关。

根据九江地区新构造运动的特点及现代中强地震的分布特征, 以及上述对丁家山-郎君山断裂活动

性分析, 结合瑞昌盆地相关地质地貌, 推断瑞昌盆地边界 NE 向的丁家山-郎君山断裂为本次地震的发震构造。

3.2 九江 5.7 级地震的发震部位

野外调查发现, 在金家湾北洋鸡山附近的宏观震中位置发育一条 NW 向断裂(图 3, 6)。该断裂长约 1 km, 斜切 NE 向构造线, 将郎君山-丁家山背斜轴部和丁家山-郎君山断裂错断, 使其左旋平移达 100 多米。洋鸡山南的混杂岩中见有其露头, 走向 320°, 倾向 SW, 倾角 78°。断裂切割了第三系紫红色砾岩, 与 NE 向断裂共同作用致使断裂东北侧的第三系紫红色砾岩强烈变形(图 6), 形成一向北倾伏的背斜褶皱。这一 NW 向断裂切割了新生代地层和较老 NE 向断裂, 而为较新活动的断裂(ESR 测年为 (344 ± 34) ka)所限制, 据此推断其为第四纪早期活动断裂。此外, 在天词山东发育的 NW 向小型断裂在活动时代、规模和水平位错距离上, 也与此断裂相近。

九江 5.7 级地震的震中位于洋鸡山东侧的赛湖农场附近, 这一带正好是金家湾东北和天词山东等 NW 向小断裂与丁家山-郎君山断裂的交汇部位(图 6)。历史上强震往往就发生在两组活动断裂带相交切的一些特殊构造部位上。因此, 九江 5.7 级地震的发震部位可能是丁家山-郎君山断裂与 NW 向断裂, 特别是较新活动的小型 NW 向断裂的交汇部位。

4 讨论

九江地区的新构造运动相对较为强烈, 其新构造期以来的演化无疑是受中国东部应力状态及本区特定动力环境共同制约。该区地处幕阜山-九岭隆起与鄱阳湖拗陷的交接地带, 这种地体边界是地质构造中最活跃的部位 [20,21]。具体构造上, 震中区发育一条 NE 向丁家山-郎君山断裂带, 该断裂在地质露头上表现为中更新世活动断裂, 具有发生中等强度地震的能力。因此, 九江地区具备地震发生的地质条件。此次地震属于构造运动中的正常事件, 并非地质突变。

震中地区的浅层地质结构与断裂系统结合的构

1) 中国地震局, 江西省地震局地震现场科学工作队. 九江-瑞昌 5.7 级地震现场科学考察报告. 2005

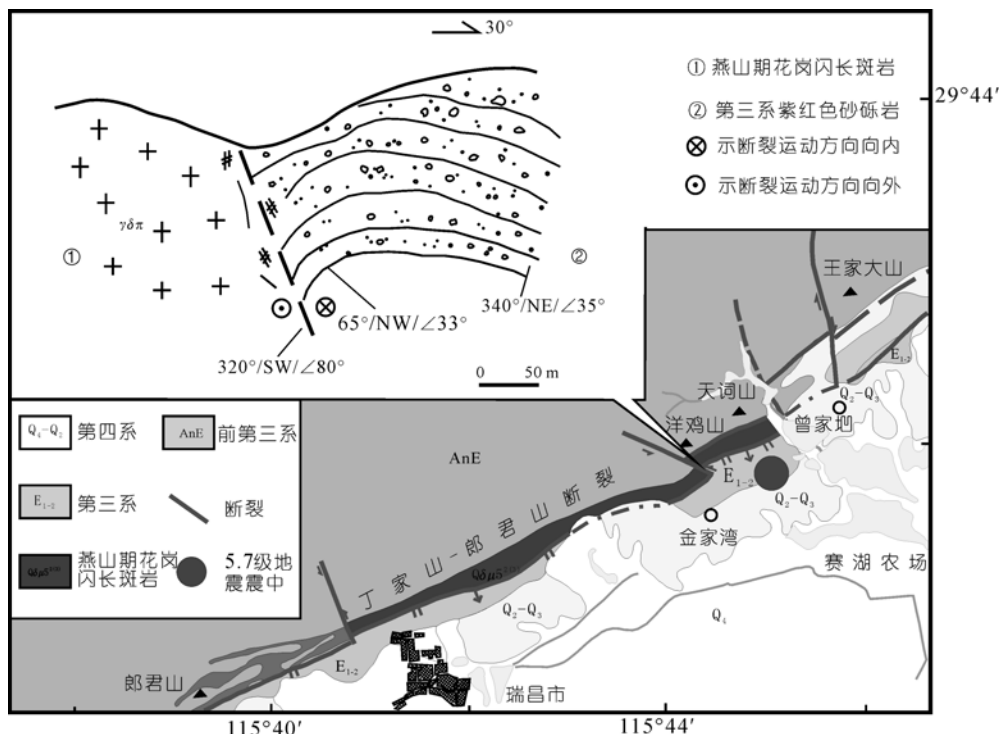


图 6 金家湾东北发震构造部位与 NW 向断裂剖面

造条件, 与中国东部中强震地区活动断裂构造的总体规律相同. 丁家山-郎君山断裂不是一条明显的活动断裂, 此前并未引起人们的注意, 因而九江地震的发生也就出乎意料. 与此相似, 一条之前未被人注意的、穿过唐山市的活动断裂引发了 7.8 级地震. 一直以来, 人们只是注重那些明显的大型活动断裂的研究, 而忽略了这些相关构造的存在. 中国东部平原或盆地地区由于第四系较厚, 断裂活动性相对西部较弱

且大多处于隐伏状态. 在这种环境下, 地表显露为 Q_2 甚至更老的断裂, 如果控制晚更新统或更新地层的发育, 有可能就是较为活动的断裂, 是潜伏中强地震危险的构造, 往往具有发生中强震的条件. 对华东、华南地区中等地震发震构造的研究同样表明, 中国东部地区中更新世活动断裂对于 5~5.5 级地震的发生具有控制作用 [22, 23]. 因此, 加强此类断裂的研究应作为今后工作的重点之一.

致谢 地震动力学国家重点实验室李建平实验师等对 ESR 样品进行了年龄分析, 中国地震局地质研究所韩竹军研究员对发震断裂及其活动性分析给予诸多启示. 谨致谢意.

参考文献

- 1 国家质量技术监督局. 中国地震动参数区划图. 北京: 中国标准出版社, 2001
- 2 吕坚, 倪四道, 沈小七, 等. 九江-瑞昌地震的精确定位及其发震构造初探. 中国地震, 2007, 23(2): 166—174
- 3 王墩, 肖和平, 姚运生, 等. 九江-瑞昌地震序列的构造背景与发震构造探讨. 大地测量与地球动力学, 2007, 27(专刊): 15—20
- 4 马杏垣, 主编. 中国岩石圈动力学图集. 北京: 中国地图出版社, 1989. 38—44
- 5 李峰, 翟杰, 罗俊秋. 九江-瑞昌地震序列现场观测与研究. 华南地震, 2006, 26(2): 20—27
- 6 任纪舜, 主编. 中国及邻区大地构造图(1:5000000). 北京: 地质出版社, 1997

- 7 徐嘉炜, 马国峰. 郟庐断裂带研究的十年回顾. 地质论评, 1992, 38(4): 316—324
- 8 朱光, 宋传中, 王道轩, 等. 郟庐断裂带走滑时代的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究及其构造意义. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2001, 31(3): 250—256
- 9 张国伟, 程顺有, 郭安林, 等. 秦岭-大别中央造山系南缘勉略古缝合带的再认识——兼论中国大陆主体的拼合. 地质通报, 2004, 23(9-10): 846—853
- 10 彭和求, 贾宝华, 唐晓珊. 湘东北望湘岩体的热年代学与幕阜山隆升. 地质科技情报, 2004, 23(1): 11—15
- 11 朱诚. 对庐山东麓第四纪沉积物物源及新构造运动的新认识. 地理学报, 1995, 50(1): 41—50
- 12 毕华, 谭克仁, 吴堃虹, 等. 赣北庐山-鄱阳湖的造山造盆作用. 江西地质, 1996, 10(1): 3—12
- 13 国家地震局震害防御司. 中国历史强震目录(公元前 23 世纪~公元 1911 年). 北京: 地震出版社, 1995
- 14 中国地震局震害防御司. 中国近代地震目录(公元 1912~公元 1990, $M_s \geq 4.7$). 北京: 地震出版社, 1999
- 15 Grun R. Present status of ESR dating. Appl Radiat Isot, 1989, 40: 1045—1056 [\[DOI\]](#)
- 16 Fukuchi T. ESR studies for absolute dating of fault movement. J Geol Soc, 1989, 149: 265—272 [\[DOI\]](#)
- 17 Rink W J. Electron spin resonance(ESR) dating and ESR applications in Quaternary science and Archaeometry. Rad Measur, 1997, 27(5-6): 975—1025 [\[DOI\]](#)
- 18 高建华, 郑栋, 李超. 2005 年 11 月 26 日九江-瑞昌 5.7 级地震浅析. 气象与减灾研究, 2006, 29(1): 56—60
- 19 姚大全, 凌学书, 蒋春曦, 等. 九江-瑞昌 5.7 级地震调查及其思索和启示. 国际地震动态, 2006, (3): 5—11
- 20 张培震, 邓起东, 张国民, 等. 中国大陆的强震活动与活动地块. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2003, 33(增刊): 12—20
- 21 邓起东, 张培震, 冉勇康, 等. 中国活动构造基本特征. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2002, 32(1): 1020—1030
- 22 王志才, 晁洪太. 1995 年山东苍山 5.2 级地震的发震构造. 地震地质, 1999, 21(2): 115—120
- 23 魏柏林, 何晓灵. 1584 年肇庆 5.0 级双震的发震构造讨论. 华南地震, 2002, 22(2): 59—63